

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 02 765.3

**Anmeldetag:** 24. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen/DE

**Bezeichnung:** Optische Anordnung mit Linse aus einachsiger doppelbrechendem Material

**IPC:** G 02 B, G 03 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 12. Dezember 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Agurks', written over the printed name 'Agurks'.

Agurks



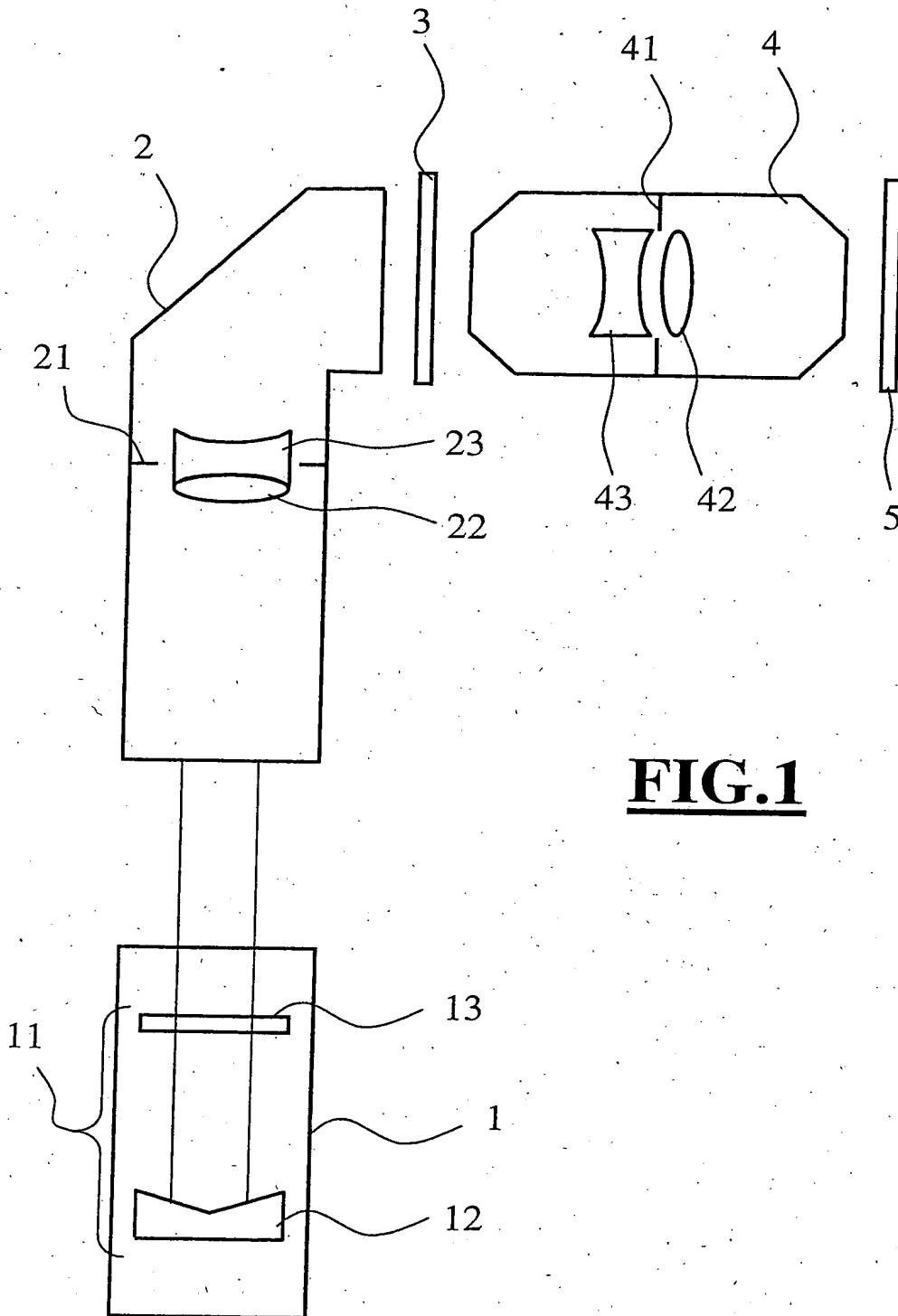
Zusammenfassung:

Optische Anordnung mit Linse aus einachsigen doppelbrechendem Material

(Fig.1)

Eine optische Anordnung, vorzugsweise eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage wird mit Linsen (22, 42) aus doppelbrechendem optisch einachsigem Material in einer Pupillenebene (21, 41) und in tangential oder radial linear polarisierten Licht ausgestattet. Damit ist bei der 157 nm Lithographie  $\text{MgF}_2$  als zusätzliches Linsenmaterial mit abweichender Brechzahl zur Achromatisierung mit  $\text{CaF}_2/\text{BaF}_2$  zugänglich.

1/2



**FIG.1**

Beschreibung:

03014 P

Optische Anordnung mit Linse aus einachsigen doppelbrechendem Material

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung mit mindestens einer Linse, einem Lichtbündel, einer optischen Achse und einer dazu senkrechten Ebene, wobei das Lichtbündel in der Ebene tangential oder radial zur optischen Achse polarisiert ist und die Linse benachbart zu der oder in der Ebene angeordnet ist.

Eine derartige Anordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus der DE 100 29 938 A bekannt in einer Ausführung, bei der  $\text{MgF}_2$  als Linsenmaterial dient und die Lichtwellenlänge in einem sehr engen Intervall um die ausgezeichnete Wellenlänge (bei 119 nm) liegt, bei der  $\text{MgF}_2$  nicht doppelbrechend ist.

In der Patentanmeldung DE 100 10 131 A (US Ser. No. 09/510 875) ist Mikrolithographie mit tangential polarisierter Beleuchtung ausführlich beschrieben, auch die Bereitstellung wird erläutert. Ein Zusammenhang mit Brechungseigenschaften der Linsenmaterialien wird jedoch nicht angegeben. Auch Systeme mit radialer Polarisation sind dort zitiert.

$\text{MgF}_2$  als Linsenmaterial wird in der DE 199 29 701 A (US Ser.No. 09/451 505) für den DUV/VUV-Bereich angesprochen, aber wegen der Doppelbrechung als ungeeignet abgelehnt. Diese Anmeldungen und die darin enthaltenen Zitate sollen ausdrücklich auch Teil der Offenbarung dieser Patentanmeldung sein.

Aus US 5,867,315 A ist eine polarisationsselektive Bifokal-Linse aus zwei Teil-Linsen bekannt, woraus mindestens eine Teil-Linse aus optisch einachsigen doppelbrechendem Kristall besteht. In einem Ausführungsbeispiel ist ein Kittglied aus zwei Kristalllinsen mit zueinander orthogonal orientierten Hauptachsen angegeben, deren eine in Richtung der optischen Achse/der Formsymmetrieachse orientiert ist. Es wird so ein optisches Glied

6

dargestellt, das für eine Polarisationsrichtung als Planplatte, für die dazu senkrechte als Linse wirkt. Anwendung findet dies in der Scanning-Auslesung von Datenträgern, also mit kleinem Feld, nahezu paraxial. Das einfallende Licht ist unpolarisiert, das ausgehende wird in zwei zueinander orthogonal linear polarisierte Bündel aufgespalten.

Aufgabe der Erfindung ist es demnach, optischen Systemen im DUV/VUV-

A Wellenlängenbereich weitere Materialien zugänglich zu machen, die insbesondere zur Achromatisierung vorteilhaft sind, ohne dass enge Restriktionen der Wellenlänge eingehalten werden müssen.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt für eine gattungsgemäße optische Anordnung durch die Merkmale des Kennzeichens des Anspruchs 1, also dadurch, dass die Linse aus – bei dem Wellenlängenintervall des Lichtbündels – einachsigt doppelbrechendem Material besteht und die optische Kristallachse des Materials parallel zur optischen Achse der optischen Anordnung ausgerichtet ist. Insbesondere ist dabei  $\text{MgF}_2$  vorgesehen, das bisher außer bei der ausgezeichneten Wellenlänge bei 119 nm wegen seiner Doppelbrechung als Linsenmaterial abgelehnt wurde. Aus der DE 100 10 131 A ist dabei bekannt, dass die als Voraussetzung für den Einsatz von doppelbrechendem Material erforderliche tangentielle bzw. radiale Polarisation auch für den Bildkontrast Vorteile hat und auf verschiedene Art bereitgestellt werden kann. Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass alle Linsen, welche aus optisch einachsigt doppelbrechendem Material bestehen, mit der optischen Kristallachse parallel zur optischen Achse ausgerichtet sind.

Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß Anspruch 2 ist dabei vorgesehen, dass die erfindungsgemäße Linse aus einachsigt doppelbrechendem Material (von der es natürlich auch mehrere Exemplare in einer Anordnung geben kann) in oder nahe an einer Pupillenebene angeordnet ist.

Damit sind die Reststörungen aus der Doppelbrechung feldunabhängig. Es tritt also eine gleichmäßige Begrenzung des Auflösungsvermögens, nicht aber eine Verzeichnung oder dergleichen auf.

Mit dem Grenzwert der numerischen Apertur an der Linse von 0,1 gemäß Anspruch 3 wird sichergestellt, dass die Reststörungen sehr klein bleiben. Die numerische Apertur eines optischen Systems, z.B. eines Projektionsobjektivs mit einer erfindungsgemäßen Anordnung ist dadurch nicht beschränkt, besonders wenn die Linse im Bereich der Pupillenebene (System-Aperturebene) angeordnet ist.

Gemäß Anspruch 4 ist eine vorteilhafte Lichtquelle vorgesehen, nämlich ein Laser – vorzugsweise ein Excimer-Laser -, der aufgrund von Geometrie und Reflexionseigenschaften des Resonators direkt radial oder tangential polarisiertes Licht auskoppelt.

Anspruch 5 gibt die bevorzugte Anwendung der Erfindung zur (Teil-) Achromatisierung wieder. Im tiefen UV-Bereich unterhalb der 193 nm Excimer-Laser-Linie, also besonders bei der 157 nm F<sub>2</sub>-Excimer-Laser-Linie gibt es nur eine eng begrenzte Auswahl an transparenten und beständigen Linsenwerkstoffen, nämlich praktisch nur Fluorid-Kristalle und fluordotiertes Quarzglas. Nur CaF<sub>2</sub> ist bereits aus der 193 nm-Technologie in der Mikrolithographie etabliert und auch BaF<sub>2</sub> ist in der Optik erprobt. MgF<sub>2</sub> wäre wegen seiner unproblematischen Herstellung und Bearbeitung vorteilhaft als Partner zur Achromatisierung.

Bevorzugtes System, in dem die erfindungsgemäße Anordnung Anwendung findet, ist gemäß Anspruch 6 eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage. Bevorzugte Wellenlänge ist dabei 157 nm des F<sub>2</sub>-Excimerlasers. Bei größeren Wellenlängen (z.B. 193 nm) sind achromatisierte Objektive aus CaF<sub>2</sub> und Quarzglas verfügbar, so dass kein Nachfragedruck für zusätzliche Materialien besteht.

Es wird also Material mit störender polarisationsspezifischer Eigenschaft

- Doppelbrechung – durch gezielte Einstellung der Polarisation und optimalen Einsatzort im Optiksystem erfindungsgemäß für die äußerst anspruchsvolle Mikrolithographieoptik nutzbar gemacht.

Näher beschrieben wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

Es zeigen

Fig. 1: schematisch eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage erfindungsgemäßer Ausführung.

Fig. 2: schematisch die Strahlengänge an Retikel und Pupillenebene

Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage umfasst als Lichtquelle einen Laser 1 ( $F_2$  Eximerlaser 157 nm), dessen Resonator 11 neben dem planen Ankoppelspiegel 13 einen zweiten konisch -hohlkegelig- geformten Endspiegel 12 aufweist. Dieser Endspiegel ist für S-Polarisation hoch reflektierend, aber für P-Polarisation hoch transmittierend. Damit ist dies eine Quelle für radial orientiert linear polarisiertes Licht. Weitere Details, die  $F_2$ -Laser als Lichtquelle von Projektionsbelichtungsanlagen aufweisen, insbesondere zur Bandbreiteneinengung und Wellenlängenstabilisierung sind bekannt und hier nicht dargestellt. Das selbe gilt für Strahlführungssysteme und dergleichen.

Das Beleuchtungssystem 2 ist von bekannter Art, mit nicht dargestellten Elementen wie Lichtmischer/Integrator, Aperturanpassung, Retikel-Maskierung, Verschluss, Strahlumlenkung usw. Es enthält ein Objektiv mit einer Pupillenebene 21, in deren unmittelbarer Umgebung eine Linse 22 aus  $MgF_2$ , deren Kristallachse senkrecht zur Pupillenebene 21 und parallel zur optischen Achse liegt, angeordnet ist. Diese ist zur Achromatisierung des Objektivs in Kombination mit der exemplarisch gezeigten Linse 23 aus  $CaF_2$  oder  $BaF_2$  geeignet und vorgesehen. Details dazu lassen sich nach Vorgabe der beschriebenen Grundidee mit kommerziellen Optik-Design-Programmen optimieren.

9

Damit wird das Retikel 3 beleuchtet. Das Muster des Retikel 3 wird vom Projektionsobjektiv 4 auf das Objekt 5 abgebildet also z.B. auf einen Mikroelektronik-Wafer.

Das Objektiv 4 kann von jeder für die Mikrolithographie geeigneten Bauart mit extremer Auflösung, Verzeichnungsfreiheit, großem Bildfeld und hoher bildseitiger Apertur (über 0,6 bis über 0,9, mit Immersion auch über 1,0) sein. Rein refraktive wie katadioptrische Objektive verschiedenster bekannter Konzepte und auch Objektive mit diffraktiven/binären Elementen kommen in Frage.

Gemäß der Erfindung befindet sich in der Nähe einer Pupillenebene (das Objektiv kann mehrere haben, wenn es mit Zwischenbilder(n) arbeitet) 41 eine Linse 42 aus optisch einachsigem doppelbrechendem Material, insbesondere  $\text{MgF}_2$ , dessen Hauptachse in Richtung der optischen Achse senkrecht zur Pupillenebene 41 weist. Diese dient zur chromatischen Korrektur der als Linse 43 aus  $\text{CaF}_2$  oder  $\text{BaF}_2$  stellvertretend dargestellten weiteren optischen Elemente des Projektionsobjektivs 4. Auch diese kann nach Vorgabe der erfindungsgemäßen Anordnung der doppelbrechenden Linse 42 mittels kommerzieller Optik-Design-Programme optimiert werden.

Zur Kompensation der Doppelbrechungseffekte im Zusammenwirken der speziellen tangentialen Polarisation, der Kristallorientierung und der Position der Linse 42 nahe der Pupillenebene 41 (oder der Linse 22 nahe der Pupille 21) gilt:

Ein Lichtstrahl, dessen Polarisation senkrecht zur Ebene steht, die durch die Ausbreitungsrichtung und die Kristallachse gebildet wird, ist somit ein ordentlicher Strahl und erfährt keine Doppelbrechung beim Durchgang durch den Kristall. Das optische Medium hat für einen solchen Strahl nur einen Brechungsindex  $n_0$ . Stellt man eine Linse aus dem doppelbrechenden Material so her, dass ihre optische Achse mit der Kristallachse zusammenfällt, so erreicht man einen konstanten Brechungsindex für alle Tangentialstrahlen mit dieser Polarisation, und zwar unabhängig vom Ort und Winkel des Auftreffens dieser Strahlen auf die Linse. Somit wird die Abbildungsqualität des



Lithographie- Objektives von der Doppelbrechung der in der Nähe der Objektivpupille eingesetzten Linse für die Tangentialstrahlen nicht beeinflusst.

Die Voraussetzung dafür liefert eine bezüglich der Polarisierung rotationssymmetrische Beleuchtungspupille oder anders ausgedrückt tangentiale Polarisierung des die Abbildung bewirkenden Lichtbündels.

Anhand Fig. 2 betrachten wir nun die Wirkung einer Linse 42 aus doppelbrechendem Material (Kristallachse parallel zur optischen Achse ausgerichtet) in der Objektiv-Pupillenebene 41 auf die Strahlen, die von einem nicht achsialen Bildpunkt 31 ausgehen. Die Beleuchtung besitzt eine tangentiale Polarisationsverteilung. Für Strahlen, die die Objektiv-Pupillenebene 41 exemplarisch B1 – B 4 schräg passieren, ist der Brechungsindex nicht mehr konstant. Zwei Effekte treten auf:

1. eine Modulation des Brechungsindex in Abhängigkeit von Pupillenazimuth (unabhängig von den Krümmungsradien der Linse). Diese Modulation ist sinusförmig mit der Periode von  $180^\circ$  in der Pupille. Während die Strahlen B' 1 und B' 3 nach wie vor den ordentlichen Brechungsindex  $n_0$  sehen, ist die Brechzahl für die Strahlen B' 2 und B' 4 von  $n_0$  verschieden. Diese Modulation führt in erster Näherung zu einer astigmatischen Wellenfront-Verformung (Zernike-Koeffizient Z5 fünfter Ordnung) beim Durchtritt durch die (sphärische) Linse 42 in der Pupillenebene 41 führt. Dieser Wellenfrontfehler ist abstimmbare bei der Präzisionsjustage des Objektivs 4.
2. eine Doppelbrechung in Abhängigkeit vom Pupillenazimuth und vom Auftreffwinkel auf die Linsenoberfläche (d.h. vom Pupillenradius). Die Doppelbrechung ist maximal für die Strahlen B' 2 und B' 4 und verschwindet für die Strahlen B' 1 und B' 3. Dieser Effekt spielt angesichts der relativ kleinen maximalen Einfallswinkel der Strahlen auf die Pupillenebene von Lithographie-Projektionsobjektiven (Größenordnung lokale NA = 0.1) und vergleichsweise kleinen Krümmungsradien pupillennaher Linsen verglichen mit dem Punkt 1) eine untergeordnete Rolle, weil a) das Verhältnis des außerordentlichen zum ordentlichen Brechungsindex für einen auf die Linsenoberfläche schräg

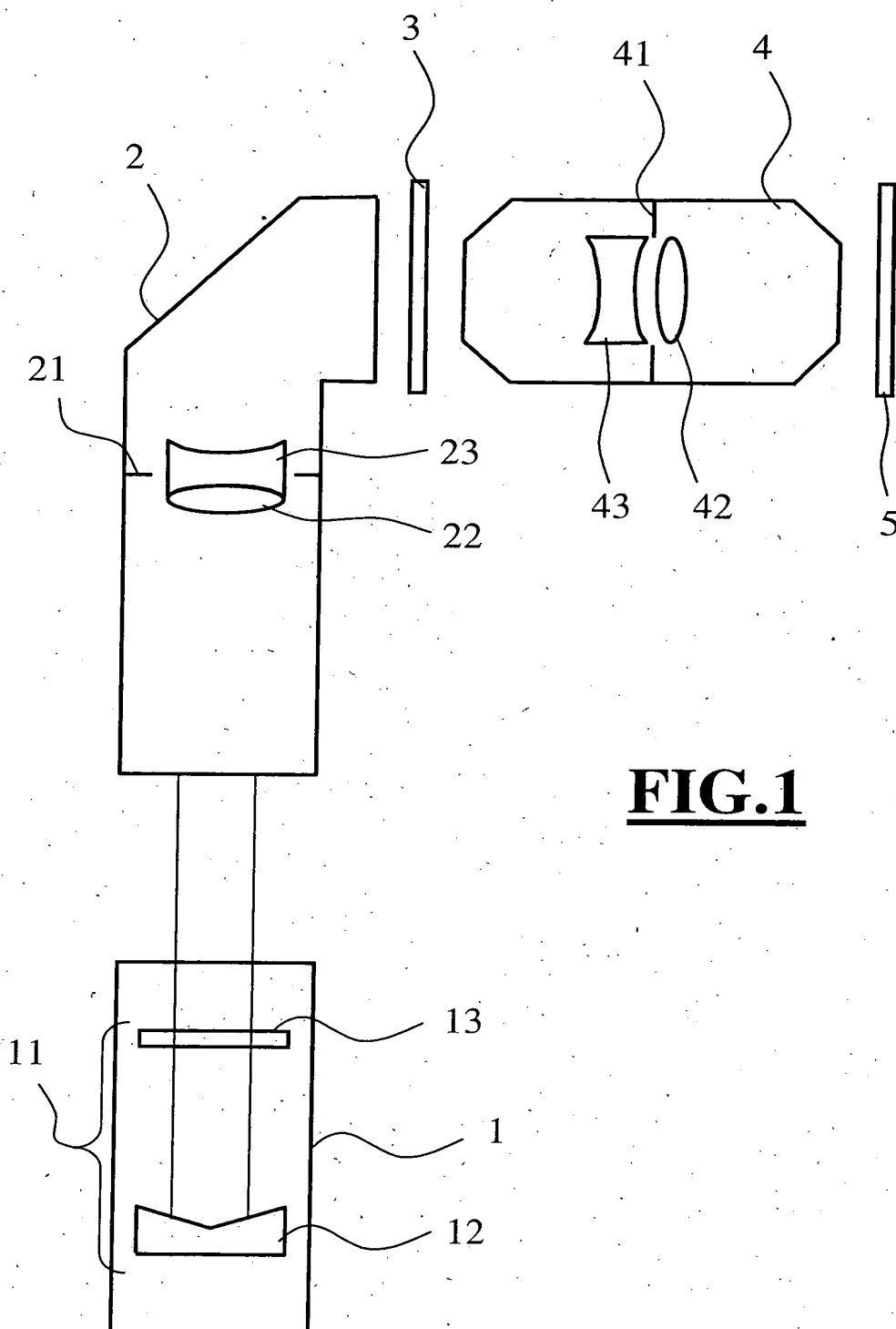
28-01-00

einfallenden Strahl sich um die Pupillen-NA (d.h. um mindestens den Faktor 10) verringert, b) das Intensitätsverhältnis des außerordentlichen zum ordentlichen Strahl dank kleiner Brechungswinkel an den Linsenpassagen gering ist (unter 10%). Diese Restdoppelbrechung in einer solchen Farbkorrektur-Linse führt zu einer beherrschbaren Kontrastabnahme zum Feldrand hin.

Das Beispiel zeigt zugleich einen tangential polarisiertes Licht erzeugenden Laserresonator 11 und erfindungsgemäße Linsen 22 und 42 sowohl im Beleuchtungssystem 2 als auch im Projektionsobjektiv 4. Natürlich können auch beliebige Teilkombinationen verwirklicht werden. Immer wird ein optisch einachsiger doppelbrechender Kristall in einer Weise eingesetzt, in der er keine störenden Doppelbrechungseffekte erzeugt.

Patentansprüche:

1. Optische Anordnung mit mindestens einer Linse (22, 42), einem Lichtbündel, einer optischen Achse und einer dazu senkrechten Ebene (21, 41), wobei das Lichtbündel in der Ebene (21, 41) tangential oder radial zur optischen Achse polarisiert ist und die Linse (22, 42) benachbart der oder in der Ebene angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Linse (22, 42) aus einachsigen doppelbrechendem Material, insbesondere  $\text{MgF}_2$ , besteht und die optische Kristallachse des Materials parallel zur optischen Achse der optischen Anordnung ausgerichtet ist.
2. Optische Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene eine Pupillenebene ist.
3. Optische Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Linse das Lichtbündel mit einer numerischen Apertur von bis zu 0,1 aufnimmt.
4. Optische Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Laser (1) zur Erzeugung des Lichtbündels vorgesehen ist, und dass der Resonator (12, 13) des Lasers (1) tangential oder radial polarisiertes Licht auskoppelt.
5. Optische Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine zweite Linse (23, 43) aus anderem Material, vorzugsweise Kristall, insbesondere  $\text{CaF}_2$  oder  $\text{BaF}_2$ , vorgesehen ist.
6. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer UV-Lichtquelle, Beleuchtungssystem und Projektionsobjektiv, insbesondere bei 157 nm, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungssystem (2) oder das Projektionsobjektiv (4) eine optische Anordnung nach Anspruch 1 oder 2 enthalten.



**FIG. 1**

